

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО
Высшая школа теоретической механики
Физико-механический институт



Тема выпускной квалификационной работы:

«Оптимизация работы газлифтных скважин с учетом механики открытия запускных клапанов»

Автор: студент гр. 5040103/10401 Любимов В.С.

Руководитель: доцент ВШТМиМФ, ФизМех, к.ф.-м.н. Юдин Е.В.

Цели и задачи выпускной квалификационной работы

ВКР

Цели:

- анализ имеющихся подходов к моделированию газлифтной скважины с газлифтными клапанами
- моделирование газлифтной скважины с учетом механики открытия запускных клапанов

Задачи:

- описание механики работы газлифтного клапана
- моделирование газлифтной скважины с одним рабочим газлифтным клапаном
- моделирование газлифтной скважины при переключении газлифтных клапанов
- анализ результатов моделирования
- реализация алгоритмов посредством скриптов на языке Python

Газлифтный способ эксплуатации

Возможность больших отборов

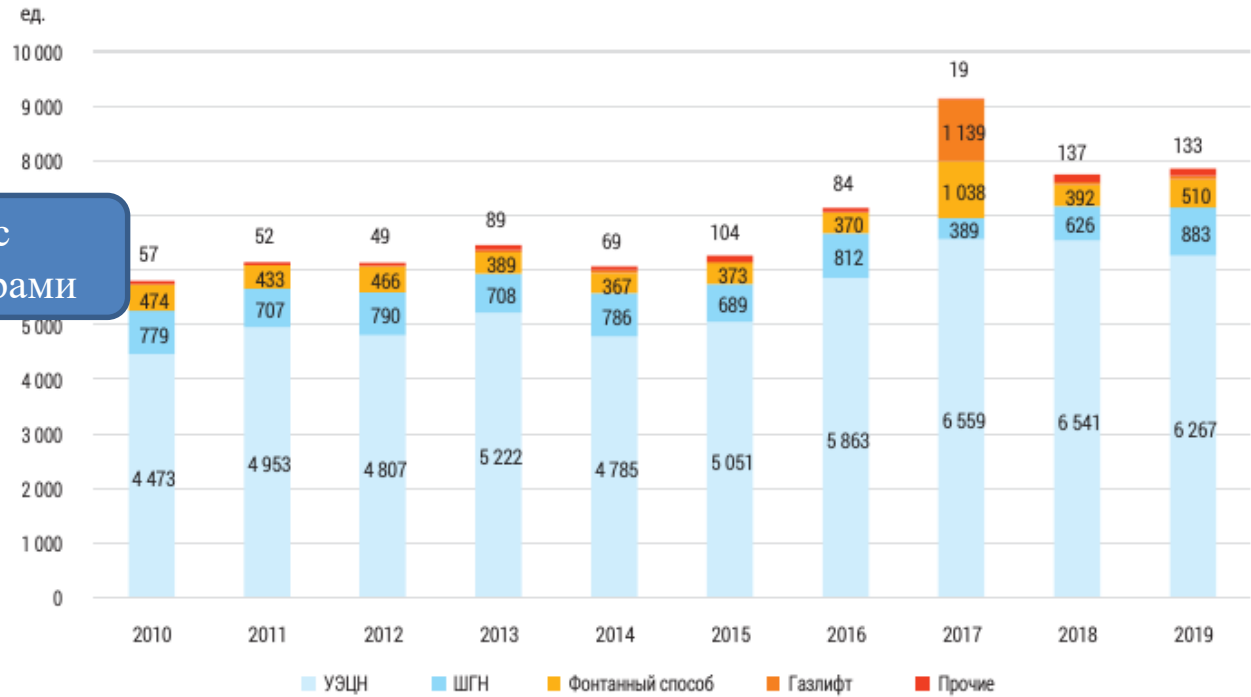
Эксплуатация скважин с большими газовыми факторами

Малое влияние профиля ствола скважины на эффективность работы

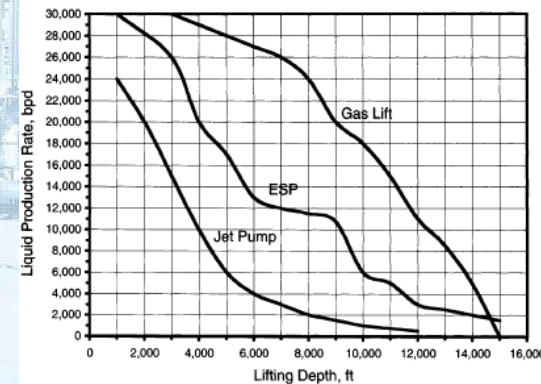
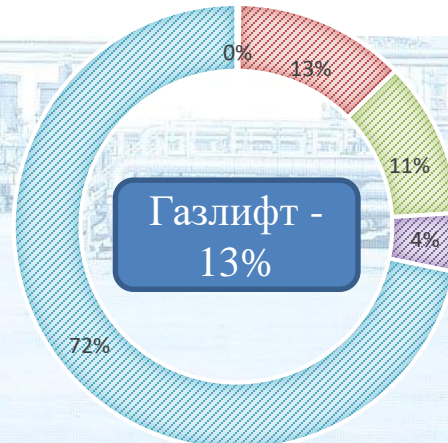
Большой ММР и простота ремонта

Возможность применения одновременно отдельной эксплуатации

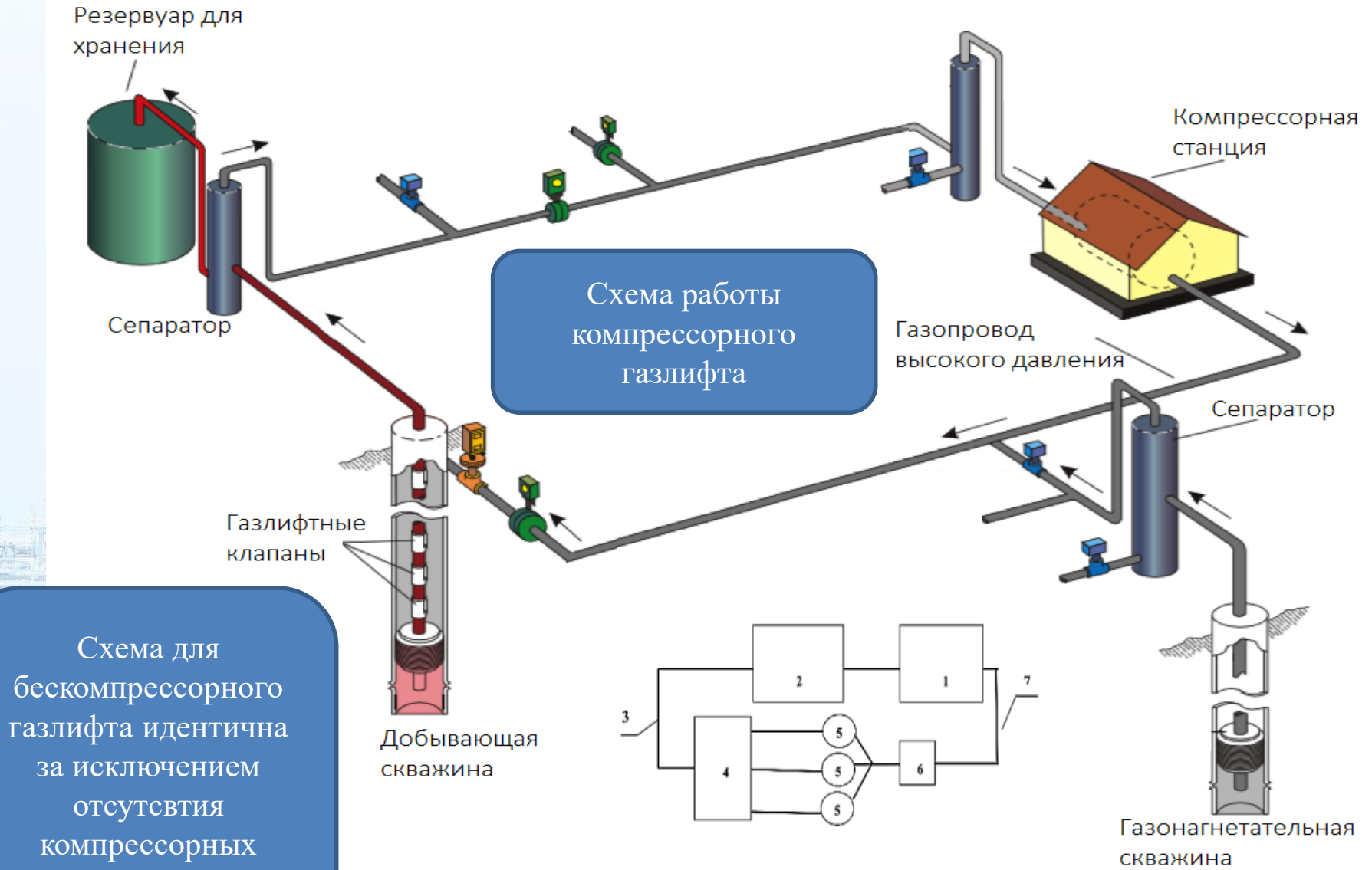
ДИНАМИКА ВВЕДЕННЫХ СКВАЖИН ПО СПОСОБУ ЭКСПЛУАТАЦИИ



Источник: ИНГГ им. А.А. Трофимука СО РАН

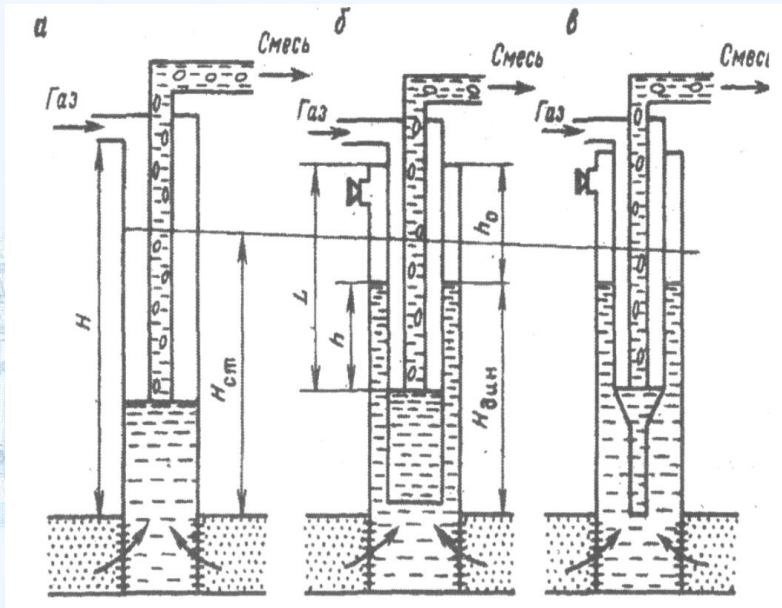


Наземное оборудование

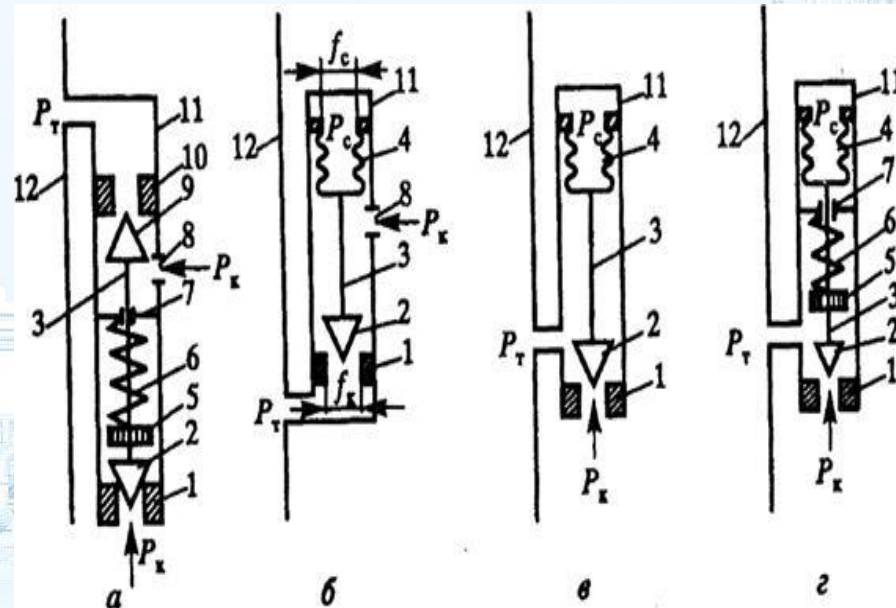


Внутрискважинное оборудование

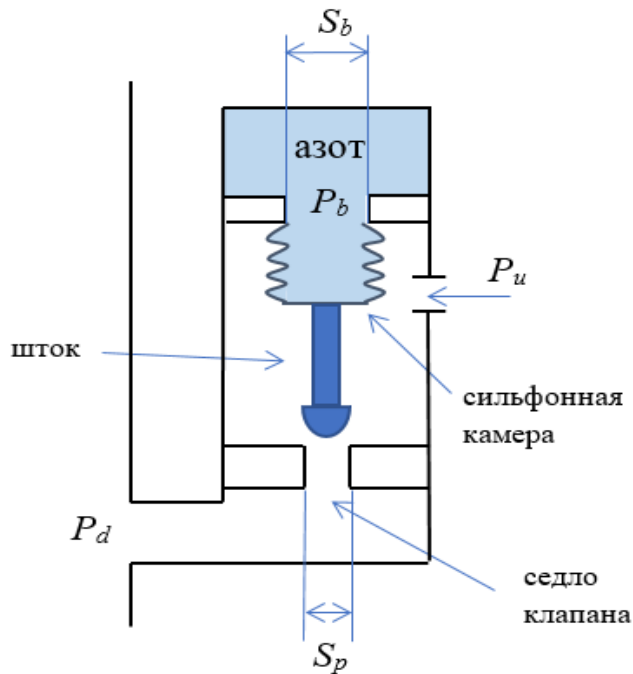
Виды газлифтных подъемников



Виды газлифтных клапанов



Устройство сильфонного газлифтного клапана



При достаточно большом перепаде давления между затрубным давлением и давлением в НКТ появляется температурная аномалия, связанная с эффектом Джоуля-Томсона:

$$\Delta T = \varepsilon \cdot (P_{затр} - P_{НКТ}),$$

где ε – коэффициент Джоуля-Томсона

Клапан будет открыт, пока давление закачки газа больше давления зарядки клапана, соответственно:

$$P_b = P_{close}$$

При закрытии клапана баланс сил, действующих на клапан изменится, соответственно, давление открытия:

$$(P_u \cdot (S_b - S_p) + P_d \cdot S_p) > P_b \cdot S_b$$

$$P_{open} = P_{close} \frac{1}{(1-R)} - P_d \frac{R}{(1-R)},$$

$R = S_p / S_b$ - где коэффициент неуравновешенности клапана

$P_b = P_{b(st)} \cdot (1-R)$ - давление зарядки клапана

Подходы к моделированию газлифтной скважины



Газ нагнетается через точку ввода

- Гидравлический расчет в НКТ
- Учет изменения PVT свойств флюида



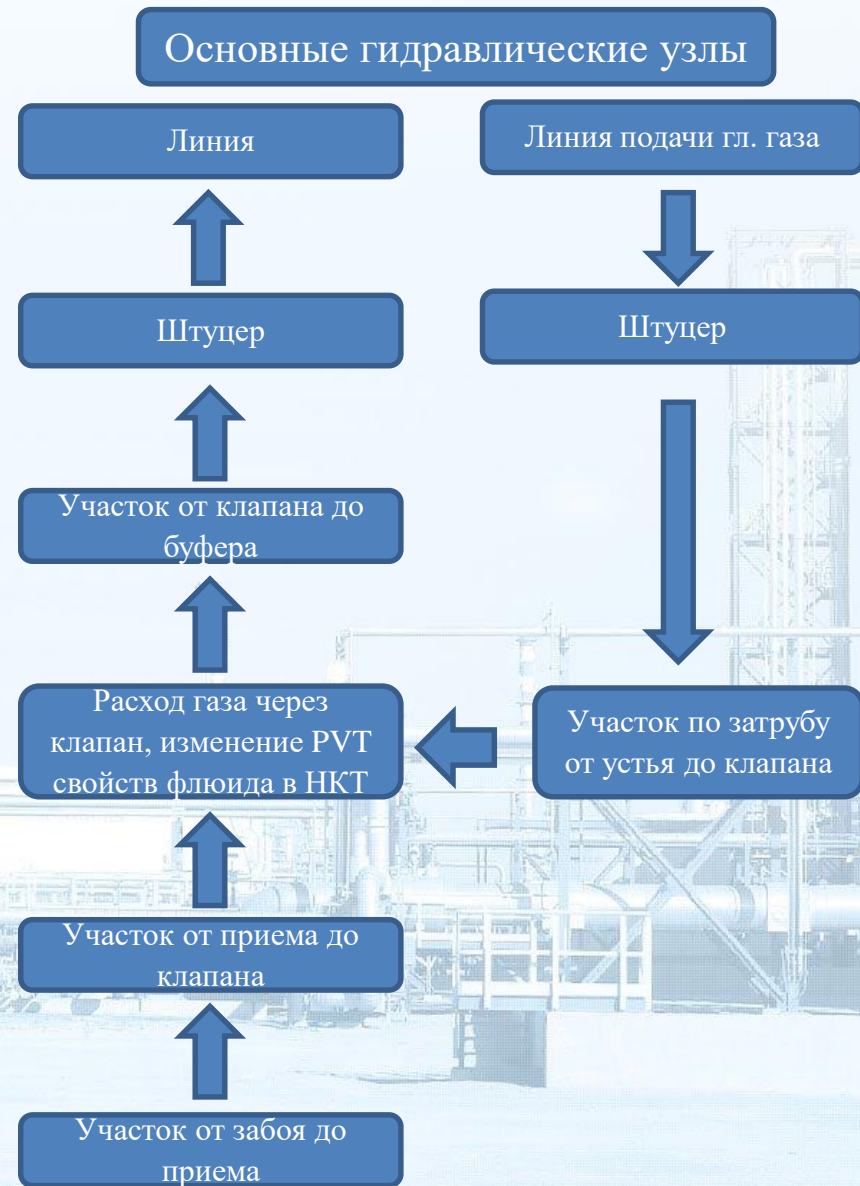
Газ нагнетается через один клапан

- Гидравлический расчет в НКТ и затрубной колонне
- Решение оптимизационных задач по определению P_{wf} , Q_{inj}
- Учет изменения PVT свойств флюида



Газ нагнетается через несколько клапанов

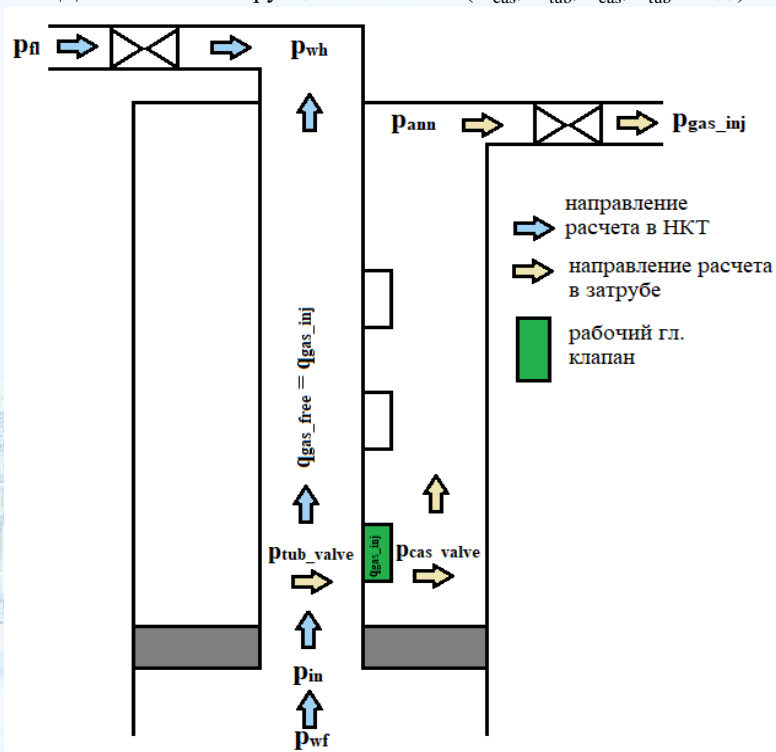
- Гидравлический расчет в НКТ и затрубе
- Решение оптимизационных задач по определению P_{wf} , Q_{inj} через каждый рабочий клапан
- Учет изменения PVT свойств флюида



Моделирование газлифтной скважины с одним клапаном

Входные данные:

- Линейное давление (P_{lin})
- PVT (q_{liq} , wc , gr , и т.д.)
- Распределение температуры
- Расход газлифтного газа (Q_{inj})
- Диаметр штуцера (d_{choke} , d_{ann_choke})
- Данные по рабочему клапану: глубина спуска (H_{valve}), давление зарядки при стандартных условиях (P_{b_valve}), диаметр порта (d_{valve})
- Данные по конструкции скважины (H_{cas} , H_{tub} , d_{cas} , d_{tub} и т.д.).



1. Расчет распределения давления по ЭК от забоя до глубины спуска НКТ. Определение давления на глубине спуска НКТ [1].

$$P_{in} = \int_{H_{cas}}^{H_{tub}} \frac{dP}{dH} f(P_{wf}, q_{liq}, wc, T_{wf}, d_{cas}, \dots)$$

2. Расчет распределения давления по НКТ от глубины спуска НКТ до глубины спуска клапана. Определение давления на выходе клапана [1].

$$P_{tub_valve} = \int_{H_{tub}}^{H_{valve}} \frac{dP}{dH} f(P_{in}, q_{liq}, wc, T_{tub}, d_{tub}, \dots)$$

3. Расчет расхода газлифтного газа по известным давлениям на входе и выходе из клапана [2].

$$Q_{inj} = f(P_{cas_valve}, P_{tub_valve}, d_{valve})$$

4. Расчет распределения давления по ЭК от глубины спуска клапана до устья. Определение затрубного давления [3].

$$P_{ann} = \int_{H_{valve}}^0 \frac{dP}{dH} f(P_{cas_valve}, Q_{inj}, T_{valve}, d_{ann}, \dots)$$

5. Расчет давления зарядки газлифтного газа (через расчет штуцера) [4].

$$P_{gas_inj} = f(P_{ann}, T_{ann}, Q_{inj}, wc, d_{ann_choke}, \dots)$$

6. Расчет распределения давления по НКТ от глубины спуска рабочего клапана до устья с учетом газа, прошедшего через клапан. Определение буферного давления [1].

$$P_{wh} = \int_{H_{valve}}^0 \frac{dP}{dH} f(P_{tub_valve}, q_{liq}, wc, T_{valve}, q_{gas_free}, d_{tub}, \dots)$$

7. Расчет буферного давления по линейному (через расчет штуцера) [4].

$$P_{wh(fact)} = f(P_{lin}, T_{lin}, q_{liq}, q_{gas_free}, wc, d_{choke}, \dots)$$

1. Ansari, A. M., Sylvester, N. D., Sarica, C. et al. 1994. A Comprehensive Mechanistic Model for Upward Two-Phase Flow in Wellbores/Beggs H., Brill J.P., A Study of Two-Phase Flow in Inclined Pipes/Gray, H.E. 1978. Vertical Flow Correlation in Gas Wells/Hagedorn, Alton R., and Kermit E. Brown, 1965. Experimental Study of Pressure Gradients Occurring During Continuous Two-Phase Flow in Small-Diameter Vertical Conduits

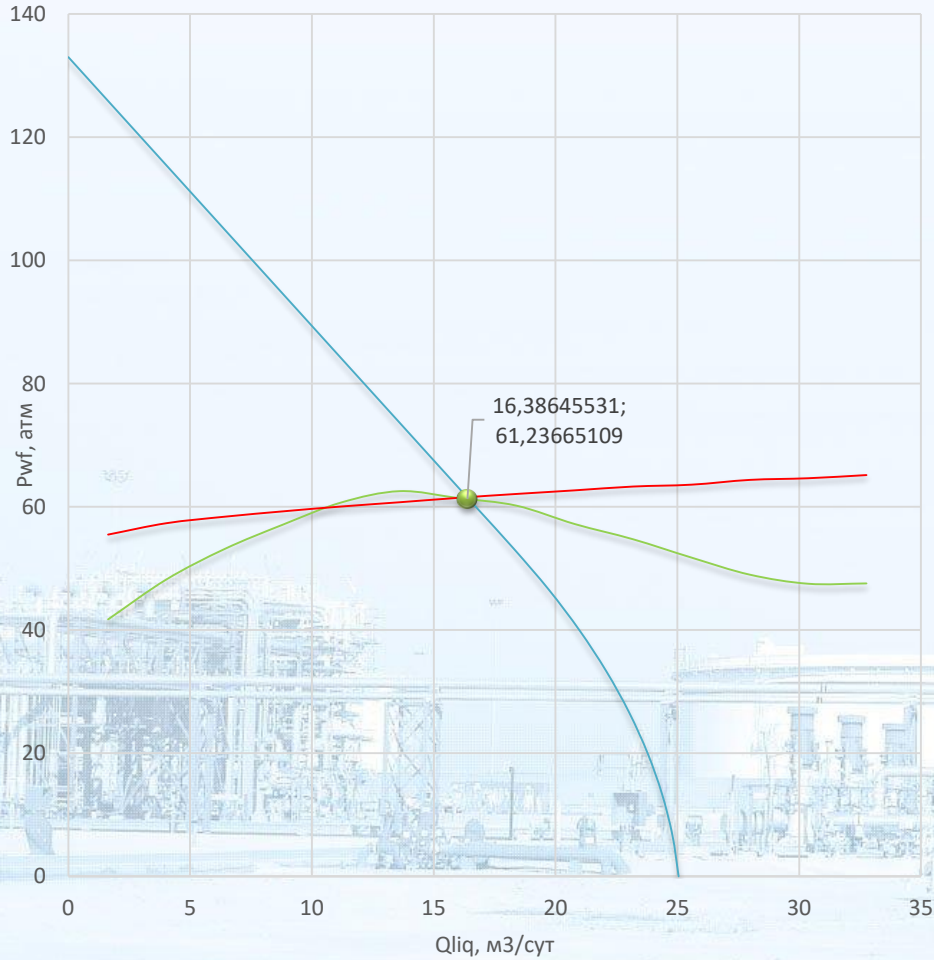
2. Hernandez Ali. Fundamentals of Gas Lift Engineering, Chapter 4, 2016, 135 c.

3. Gray, H.E. 1978. Vertical Flow Correlation in Gas Wells

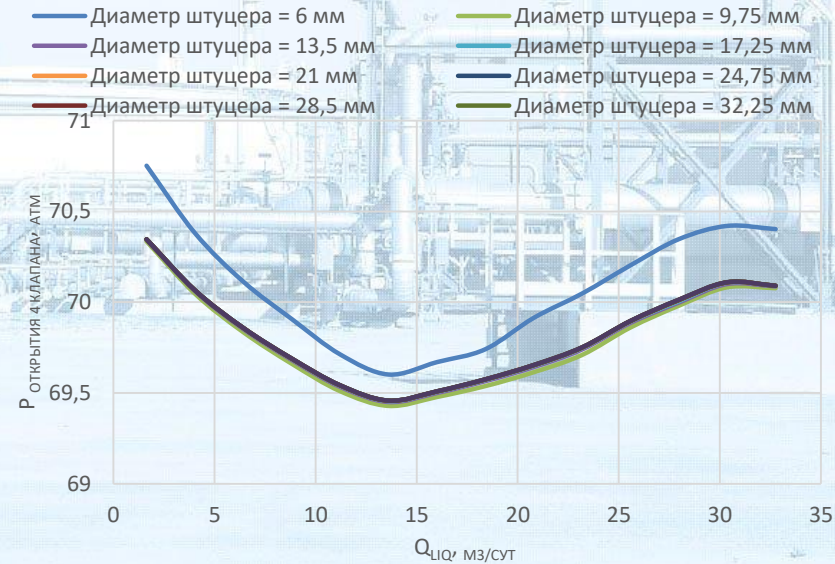
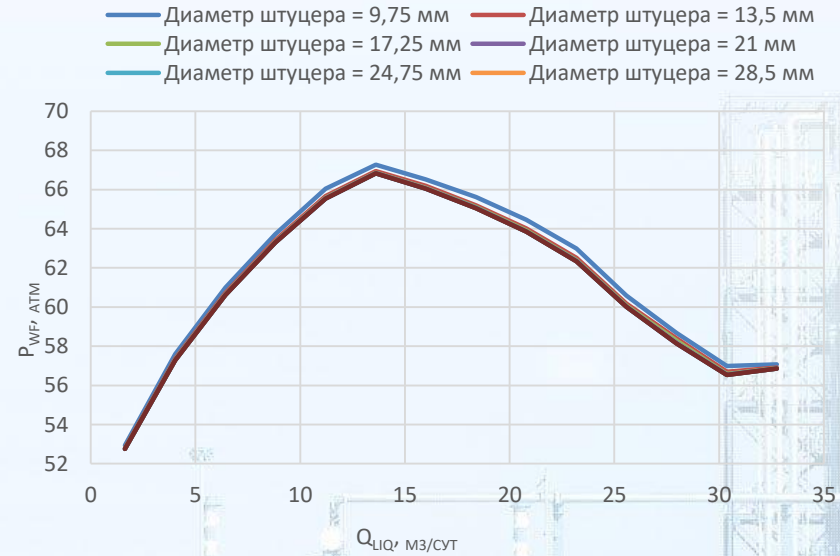
4. Mechanistic correlation, PIPESIM User Guide, 567

Построение кривых VLP и поиск рабочей точки

- **VLP** – кривая оттока (кривая вертикального лифта) – зависимость параметра от дебита
- **IPR** – кривая притока (индикаторная линия)- зависимость дебита от забойного давления

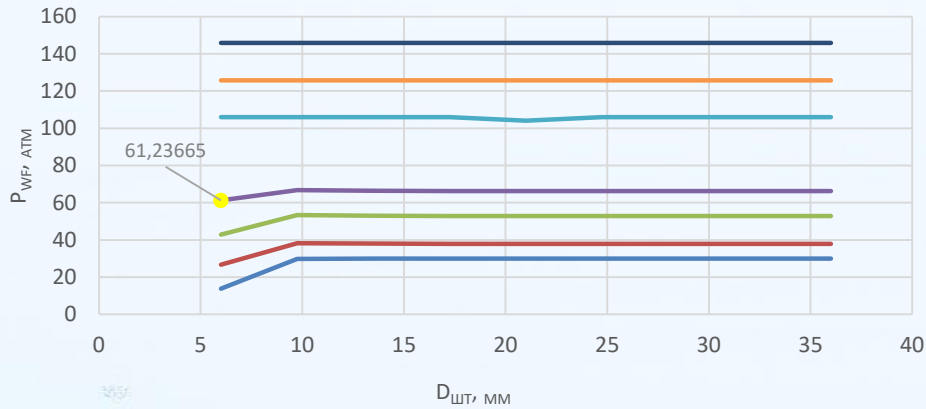


- VLP (текущий режим)
- VLP (текущий режим, модель точки ввода газа)
- IPR
- Рабочая точка

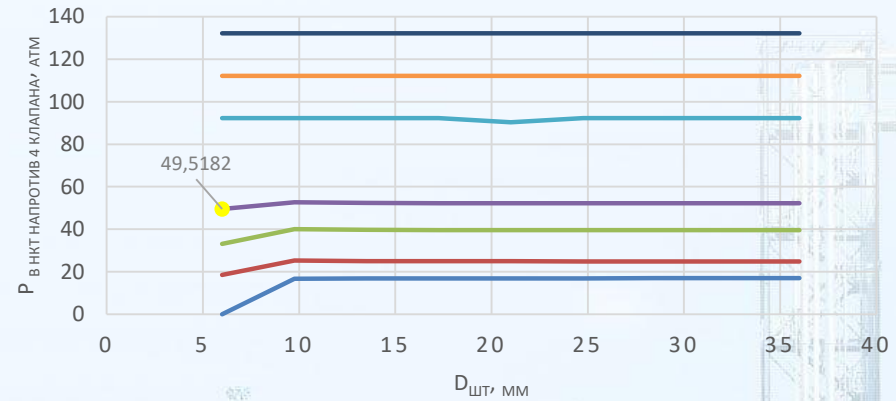


Узловой анализ

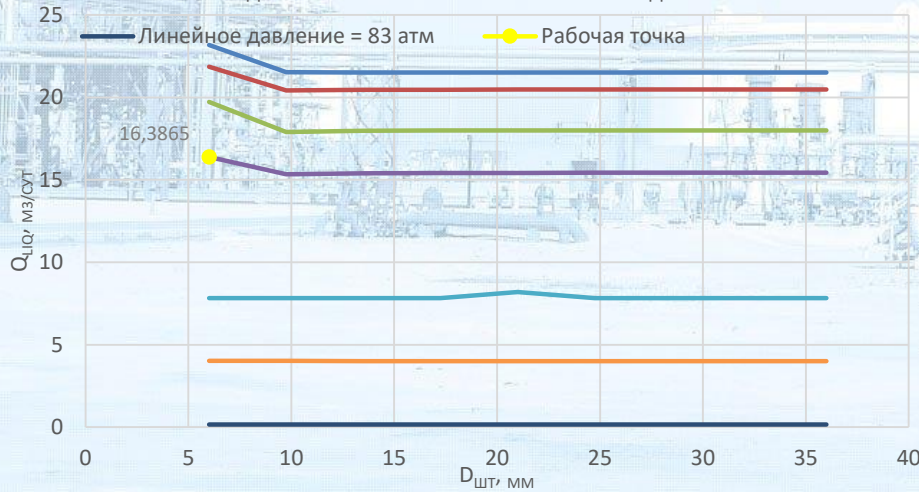
- Линейное давление = 1 атм
- Линейное давление = 8,333 атм
- Линейное давление = 15,667 атм
- Линейное давление = 23 атм
- Линейное давление = 43 атм
- Линейное давление = 63 атм
- Линейное давление = 83 атм
- Рабочая точка



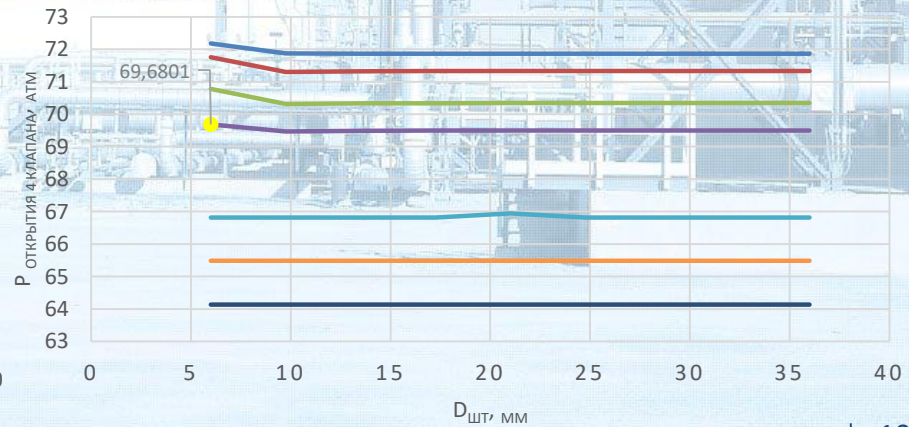
- Линейное давление = 1 атм
- Линейное давление = 8,333 атм
- Линейное давление = 15,667 атм
- Линейное давление = 23 атм
- Линейное давление = 43 атм
- Линейное давление = 63 атм
- Линейное давление = 83 атм
- Рабочая точка



- Линейное давление = 1 атм
- Линейное давление = 8,333 атм
- Линейное давление = 15,667 атм
- Линейное давление = 23 атм
- Линейное давление = 43 атм
- Линейное давление = 63 атм
- Линейное давление = 83 атм
- Рабочая точка

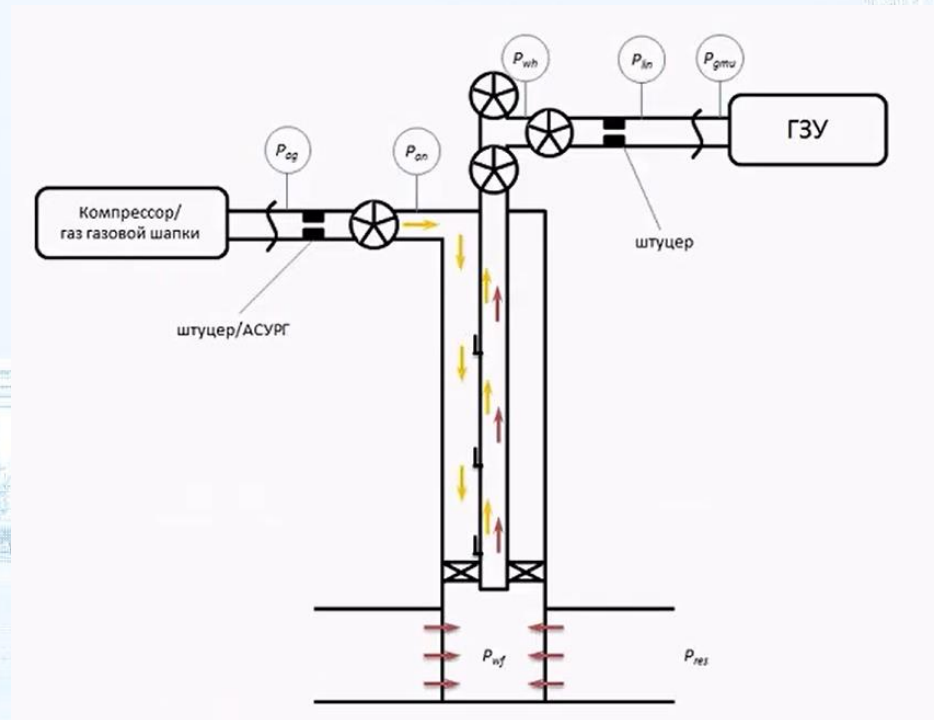


- Линейное давление = 1 атм
- Линейное давление = 8,333 атм
- Линейное давление = 15,667 атм
- Линейное давление = 23 атм
- Линейное давление = 43 атм
- Линейное давление = 63 атм
- Линейное давление = 83 атм
- Рабочая точка



Выводы

- Алгоритм моделирования газлифтной скважины с запускными клапанами реализован посредством скриптов на языке Python
- В использованной модели дополнительно учтены процессы, связанные с механикой открытия запускных клапанов
- Проведен анализ результатов моделирования, функционал протестирован на пилотном месторождении Западной Сибири в сотрудничестве с технологами, результаты моделирования совпадают с фактическими данными



Спасибо за внимание!

